

# OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA DE LA ASIGNACIÓN DE CANALES EN REDES WIFI

J. Moreno, M. Domingo, L. Valle, J. R. Pérez, J. Basterrechea

jose\_teleco@msn.com, domingom@unican.es, vallej@unican.es, perezjr@unican.es, jose.basterrechea@unican.es

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. Laboratorios de I+D de Telecomunicaciones, Plaza de la Ciencia, Avda. de los Castros s/n. 39005 Santander (Cantabria)

**Abstract** – A planning tool that combines the strengths of a propagation prediction tool, CINDOOR, and a particle swarm optimization algorithm (PSO) is presented in this work when applied to optimize wireless networks resources prior to their deployment. For an arbitrary scenario, the approach proposed performs channel allocation, choosing the best set of access points (AP) to be used, including their activation or deactivation to meet a required quality of service (QoS).

The CINDOOR software tool provides the heuristic method with data regarding the signal level and delay at each potential receiver point inside a meshed area, associated with any of the potential AP considered. Then, a stochastic binary PSO algorithm is used to meet the following requirements altogether: minimize the interference, maximize the signal-to-interference ratio (SIR) and activate as few AP as possible to maximize the coverage area and reduce interferences. Representative results are included, showing the usefulness of the approach proposed for a real wireless network, considering a certain QoS.

## I. INTRODUCCIÓN

El despliegue de redes inalámbricas de tipo WIFI para proporcionar servicio a usuarios itinerantes se está acelerando de manera vertiginosa en los últimos años.

Cuando el tamaño de la red es pequeño, su diseño no ofrece mayores complicaciones, e incluso resulta trivial cuando solamente se dispone de un punto de acceso, como suele ser habitual en las pequeñas empresas y en los domicilios particulares. Sin embargo, el diseño de estas redes en entornos con múltiples puntos de acceso resulta complejo, dado que son sistemas canalizados con un muy reducido número de canales utilizables. Esto da lugar a la aparición de interferencias provocadas por otros equipos de la red que deben ser minimizadas mediante un diseño apropiado de la misma.

Tradicionalmente, esta optimización se ha realizado basándose en reglas heurísticas que funcionan correctamente en entornos que no presentan demasiados obstáculos. Sin embargo, el incremento del número de usuarios de las redes y de sus exigencias en cuanto a velocidades de transmisión, junto con el despliegue en áreas con múltiples obstáculos como oficinas, laboratorios, plantas de fabricación, etc, comienzan a hacer inviable el diseño de la red sin el soporte de algún tipo de herramienta. Dichas herramientas permiten realizar, previamente a la fase de despliegue de la red, estimaciones adecuadas del comportamiento de la misma en el entorno en que se va a instalar, facilitando la determinación de la localización más adecuada de los puntos

de acceso y su asignación óptima de canales para reducir los costes de instalación y maximizar su rendimiento para el número previsto de usuarios de la red.

En estas situaciones en las que se dispone de un número elevado de puntos de acceso y un reducido número de canales no solapados disponibles (tres en la banda de 2.4GHz), resulta complejo determinar el emplazamiento y asignación de canales para los puntos de acceso minimizando la degradación de la señal en el área de cobertura de la red.

El objetivo planteado en el presente trabajo es el de analizar la viabilidad de la utilización de un método de optimización heurístico, como es el optimizador con enjambre de partículas (PSO) en su versión binaria (BPSO), en combinación con un simulador de coberturas, en este caso el simulador CINDOOR desarrollado en el seno del grupo GISAR de la UC [1], para efectuar de forma autónoma la selección de los mejores emplazamientos para los puntos de acceso y de los canales asociados a cada uno de ellos.

En lo que respecta a la organización del documento, en la sección II se presenta el método BPSO junto con las diferentes configuraciones que puede ofrecer. En la sección III se describe el método utilizado para cuantificar la calidad de los resultados ofrecidos por el optimizador y que permitirá guiarle en la búsqueda del resultado óptimo. Finalmente, en las secciones IV y V se incluyen resultados representativos obtenidos al integrar las herramientas descritas en secciones previas y las conclusiones más relevantes del trabajo, respectivamente.

## II. OPTIMIZACIÓN CON ENJAMBRE DE PARTÍCULAS (BPSO)

La optimización por enjambre de partículas es un proceso estocástico por medio del cual se pretende imitar a nivel computacional el comportamiento social de colectivos tales como los enjambres de abejas o los bancos de peces, intentando dar respuesta a problemas de gran complejidad (multimodales, multidimensionales y no lineales). Este algoritmo se basa principalmente en fenómenos sociales y psicológicos que aprovechan el conocimiento adquirido por el individuo o partícula y la colectividad y su capacidad de interrelacionarse para guiarse hacia la solución óptima [2-3].

La partícula es en sí una posible solución que se caracteriza por un vector velocidad y otro posición, ambos en N dimensiones. El problema ahora se fundamenta en determinar cómo han de moverse las partículas para evitar

caer en soluciones locales no deseadas. Este movimiento se ve condicionado por la mejor solución histórica encontrada por la partícula ( $p_{in}$ ) y la mejor solución encontrada por el colectivo que, gracias a la comunicación entre individuos, la partícula conoce ( $g_n$ ). Por ello se formula el proceso del movimiento de partículas por el espacio de búsqueda N-dimensional de la iteración  $k$  a la iteración  $k+1$  como sigue. Para una partícula arbitraria  $i$ , su velocidad se actualiza de acuerdo con (1)-(2) y la posición se calcula con (3)-(4), [2-4].

$$\begin{aligned} \bar{v}_{in}(k+1) = v_{in}(k) + c_1 r_1(k) \cdot [p_{in}(k) - x_{in}(k)] \\ + c_2 r_2(k) \cdot [g_n(k) - x_{in}(k)] \end{aligned} \quad (1)$$

$$v_{in}(k+1) = \text{sign}(\bar{v}_{in}(k+1)) \cdot \min(|\bar{v}_{in}(k+1)|, V_{\max}) \quad (2)$$

$$x_{in}(k+1) = \begin{cases} 1, & S(v_{in}(k+1)) > r_3 \\ 0, & \text{resto} \end{cases} \quad (3)$$

$$S(v) = \frac{1}{1 + e^{-v}} \quad (4)$$

En (1)-(4),  $v_{in}(k)$  y  $x_{in}(k)$  representan la velocidad y posición en la iteración o instante de tiempo  $k$  de la partícula  $i$  en la dimensión  $n$ -ésima del espacio de búsqueda. Los factores  $c_1$  y  $c_2$  son las denominadas constantes de aceleración cognitiva y social, que determinan en qué medida influye sobre el movimiento de la partícula la memoria de ésta y del grupo. En este trabajo se han empleado los valores  $c_1=c_2=2$ . Los términos  $r_1(k)$ ,  $r_2(k)$  y  $r_3(k)$  son números aleatorios uniformemente distribuidos entre 0 y 1 que emulan el comportamiento estocástico e impredecible del enjambre. El optimizador limita la  $v_{in}$  a un valor máximo permitido, tal que  $|v_{in}| < V_{\max}$ . Esto simplemente limita la probabilidad de cambio de  $x_{in}$  de 0 a 1. Se ha asignado un valor de  $V_{\max}=4$  con la finalidad de explorar el espacio de soluciones a una velocidad adecuada, sin ralentizar el proceso de optimización. En el BPSO un valor próximo a cero aumenta la velocidad [4].

Actualizada la velocidad y posición de cada partícula, resta aún analizar como fluye la información en el enjambre. Se puede esperar a que todas las partículas hayan finalizado su movimiento antes de propagar la información, dando lugar a la versión síncrona (S), o bien transmitirla en el instante en que se conoce, dando lugar, en este caso, a la versión asíncrona (A). También existen diferencias en función del alcance de la información transmitida, es decir, la topología de la población, para saber si cada hallazgo se comparte con toda la población, dando lugar a una topología global (G), o con un subconjunto de ésta, dando lugar a una topología local (L). A estos esquemas se puede añadir un mecanismo puramente genético para acelerar la convergencia, aplicando por ejemplo un operador de selección. En base a la bibliografía consultada, se plantea el uso de un esquema AG con selección por torneo por acelerar la convergencia y mantener la tasa de éxito [2].

Finalmente, se plantea una función de coste o fitness a minimizar, utilizada para cuantificar la calidad de las soluciones planteadas por el BPSO. Esta función es determinante si se desea tener éxito en la correcta resolución del problema planteado [2].

### III. HERRAMIENTA DE ASIGNACIÓN DE CANALES

El criterio que se ha seguido en este trabajo para la asignación de canales, posicionado y determinación del número de puntos de acceso (en adelante PA) necesarios para cubrir un área en base a una demanda de QoS, se sustenta en los conceptos de cobertura e interferencia.

La cobertura está ligada a la velocidad de transmisión y la sensibilidad, que será un elemento básico a tener en cuenta y cuyos valores se definen en el estándar IEEE 802.11.

La interferencia se tratará a través del parámetro SIR, que puede ser más crítico que el SNR, mejorable con el aumento de la potencia de transmisión del PA.

Antes de iniciar el proceso, se deben indicar los canales con los que se desea que trabaje el optimizador dentro de los permitidos por la regulación (Ch. 1 a 13) y dejar claros los límites mínimos en el valor de SIR, sensibilidad de las tarjetas receptoras, cobertura y número de PA que se deben tener encendidos para atender una demanda de tráfico concreta. Este último parámetro se ve afectado por la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} PA = \frac{BW_{requerido} \cdot \rho \cdot N^{\circ} usuarios}{V_{programada}} \quad (5)$$

En (5), el término  $BW_{requerido}$  representa el caudal demandado por usuario en Mbps,  $\rho$  indica el porcentaje de ese  $BW_{requerido}$  aprovechado y  $V_{programada}$  es la velocidad a la que se prevé van a trabajar los PA, expresada en Mbps.

El método seguido parte del cálculo de los niveles de señal disponibles en un mallado de puntos definidos sobre el modelo del entorno, que se realiza mediante el simulador CINDOOR una vez definidas las posibles localizaciones de los PA para todos los posibles canales a emplear. Una vez se ha finalizado el proceso de simulación, la información obtenida es almacenada y se inicia el proceso de optimización.

Dado que existe la posibilidad de activar o desactivar los PA y que el optimizador emplea codificación binaria, cada punto de acceso es codificado mediante un bit que indica su activación o no y una serie de bits en código binario natural que identifican el canal asignado al mismo. Esta información de todos los PA se agrupa en un array binario que representa la posición de la partícula en el BPSO.

El optimizador trabaja con varios de estos arrays (tantos como partículas) para determinar, de acuerdo al proceso descrito en la sección anterior, la solución óptima del problema. Con esta información se pueden realizar los cálculos de los parámetros necesarios para cada partícula: la SIR en cada punto de muestreo del área a cubrir. En caso de que se supere el límite de calidad en relación con la SIR y la sensibilidad por alguno de los PA que se encuentre operativo, se puede dar el punto de recepción como cubierto y se toma el máximo SIR obtenido para ese punto como dato a tener en cuenta en posteriores cálculos. Una vez inspeccionados todos los puntos de muestreo, se procede al cálculo de la cobertura y número mínimo de puntos de acceso necesario, si se tiene en cuenta esta restricción, con la finalidad de establecer la condición que valide la solución planteada por el optimizador para el cálculo del valor de fitness. En caso de no superarse estos umbrales, se procede al descarte de la solución

planteada. La ecuación (6) se emplea para realizar el cálculo del fitness en la resolución de este tipo de problemas [5-6].

$$\begin{aligned} \text{fitness} = & w_1 \cdot \text{activos} + w_2 \cdot \text{sum\_int} \\ & + w_3 \cdot (1 + (1 - \text{SIR}_{eq})) + w_4 \cdot (1 - \text{uniform}_{SIR}) \\ & + w_5 (1 - \text{uniform}_{cobert}) + w_6 (1 - \text{cobertura}) \end{aligned} \quad (6)$$

En (6), los valores de los coeficientes  $w_i$  asignan un peso a los parámetros. Los coeficientes  $w_1$  y  $w_2$  se fijan a 0.5 para ponderar por igual la activación y distribución uniforme de canales. Los coeficientes  $w_3$  a  $w_6$  ponderan parámetros interrelacionados entre sí y han de cumplir:

$$\sum_{i=3}^6 w_i = 1 \quad (7)$$

El parámetro *activos* representa el número de PA activos para el cálculo, *sum\_int* se refleja en (8) y permite un reparto equitativo de los canales entre los PA activos, y alcanza un valor 0 cuando cada PA tiene asignado un canal diferente. El valor de *uniform*<sub>parámetro</sub> se rige por la fórmula de Jain (9) e indica la uniformidad que presenta el parámetro, siendo totalmente uniforme cuando alcanza el valor 1. En el caso de *uniform*<sub>cobert</sub>, se busca que todos los PA atiendan al mismo número de usuarios y en el de *uniform*<sub>SIR</sub> que tengan valores similares de SIR. El valor *SIR*<sub>eq</sub> es un cálculo de la proporción del valor medio de la SIR con respecto al valor máximo definido que se expresa en (10). El parámetro *cobertura* indica el valor ponderado de cobertura con respecto al máximo [5].

$$\text{sum\_int} = \frac{\sum_{n=1}^{N^{\circ} \text{PA}} \left[ \sum_{i=1}^{N^{\circ} \text{PA}} \left( \begin{cases} 1, & \text{Ch}(\text{PA}_i) = \text{Ch}(\text{PA}_n) \\ 0, & \text{resto} \end{cases} \right) \right]}{2} \quad (8)$$

$$\text{uniform}_{\text{parametro}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^a x_i \right)^2}{a \cdot \sum_{i=1}^a x_i^2} \quad (9)$$

$$\text{SIR}_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^{N^{\circ} \text{receptores}} \text{SIR}_{\text{max},i}}{\text{SIR}_{\text{max},\text{tot}} \cdot n^{\circ} \text{receptores}} \quad (10)$$

En (9),  $a$  y  $x_i$  representan el número de PA activos y el número de puntos de la malla cubiertos por cada PA, en el caso de la uniformidad de cobertura, y el número de puntos de la malla cubiertos y su valor de SIR máximo, en el caso de la uniformidad de SIR.

#### IV. RESULTADOS

El entorno sobre el que se va a realizar la optimización es el mostrado en la Fig. 1 que representa la distribución de 16 PA aleatoriamente localizados en la planta -2 del edificio de I+D de Telecomunicaciones de la Universidad de Cantabria.

En lo referente a los pesos y de acuerdo al estudio paramétrico realizado, se verifica que, al menos para el tipo de problema planteado en el que se da una mayor importancia a la cobertura y a su uniformidad, los valores óptimos de los mismos son los siguientes:  $w_3=0.2$ ,  $w_4=0$ ,  $w_5=0.3$  y  $w_6=0.5$ . Se ha deshabilitado el parámetro uniformidad de SIR ya que podría llegar a introducir interferencia en la red.

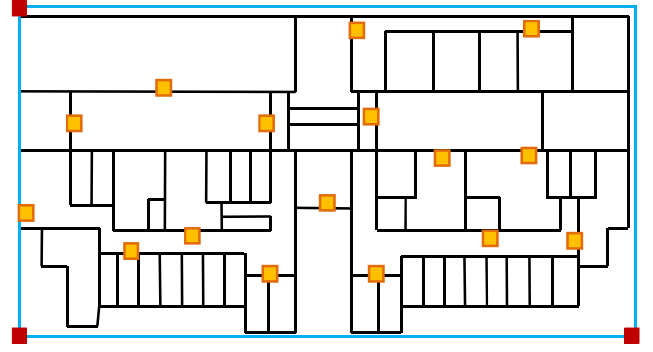


Fig. 1. Disposición de los 16 PA en la planta del edificio.

Se ha considerado la siguiente situación: una velocidad de transmisión de 36 Mbps (sensibilidad = -75 dBm), una SIR umbral de 15 dB, la posibilidad de asignar los canales 1, 6 y 11 en el caso de 3 canales posibles y los canales 1, 5, 9 y 13 en el caso de 4 canales. Los resultados del proceso de optimización para las situaciones planteadas se muestran en las Figs. 2-4 para dos requisitos de cobertura mínima diferentes: 95% y 99%. Como puede observarse en la Fig. 2, salvo para el caso del 99% de cobertura y 3 canales, el proceso de optimización funciona correctamente, dado que el fitness tiene un comportamiento monótono decreciente.

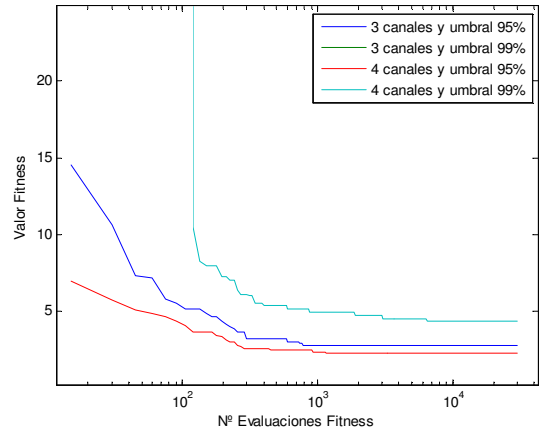


Fig. 2. Evolución del valor del fitness.

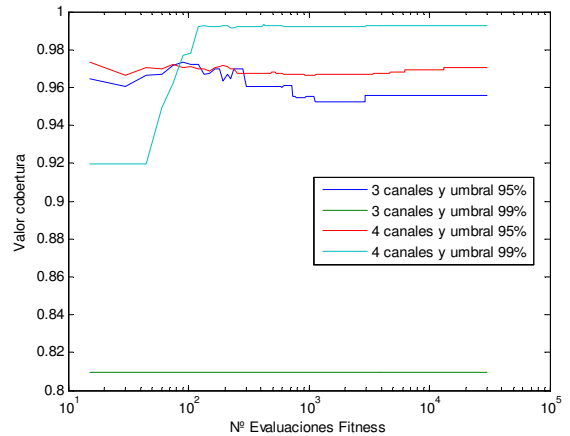


Fig. 3. Evolución de la cobertura.

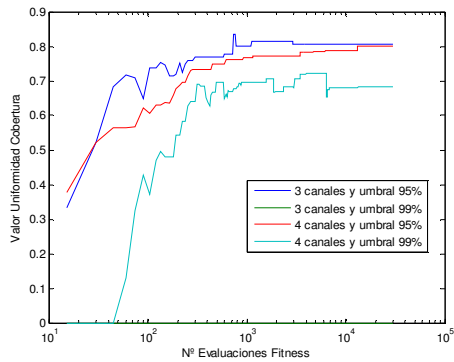


Fig. 4. Evolución de la uniformidad de cobertura.

Observando las Figs. 3-4, puede verificarse cómo en cualquiera de los 3 casos que han convergido, se cumple con la limitación de cobertura requerida y cómo las zonas de cobertura de cada punto de acceso tiende a equilibrarse.

En el ejemplo previo no se ha impuesto una demanda de tráfico que fuerce la utilización de un número de PA superior o igual al establecido por (5). Se plantea ahora un caso en el que (5) determina el número mínimo de PA necesarios: dar servicio a 160 usuarios con un  $BW_{requerido}=1\text{Mbps}$ ,  $\rho=1$  y  $V_{programada}=36\text{Mbps}$ . En esta situación y de acuerdo con (5), harían falta 5 puntos de acceso de los 16 planteados en la Fig. 1. Partiendo de la misma distribución inicial que en el caso anterior, el optimizador ha proporcionado la solución mostrada en la Fig. 5 para un 95% de umbral de cobertura y utilizando los canales 1, 6 y 11.

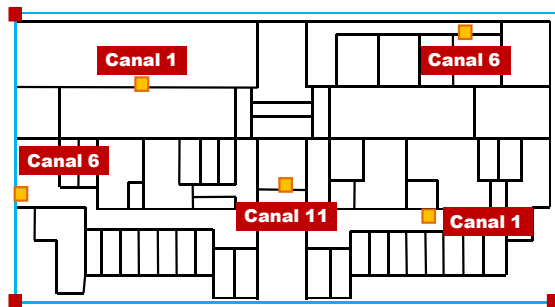


Fig. 5. Resultado optimización con demanda de tráfico.

Las Figs. 6-7 muestran los mapas de SIR máximo y de cobertura, respectivamente, correspondientes a la solución obtenida. Se puede ver cómo el optimizador ha cubierto las áreas de interés, es decir, aquellas que pertenecen a las áreas de trabajo del edificio. Por otro lado, se observa que el punto de acceso central cubre un área extensa libre de interferencia, que es superior al área del resto por darse una condición excepcionalmente favorable en los puntos del mallado, actuando como de refuerzo en las regiones de solapamiento en caso de cambiar el estado de la red o del entorno.

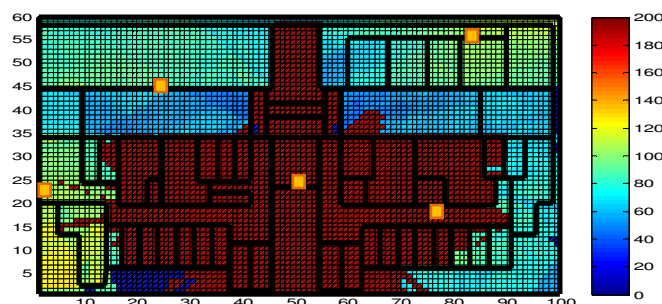


Fig. 6. Mapa de SIR máximo.

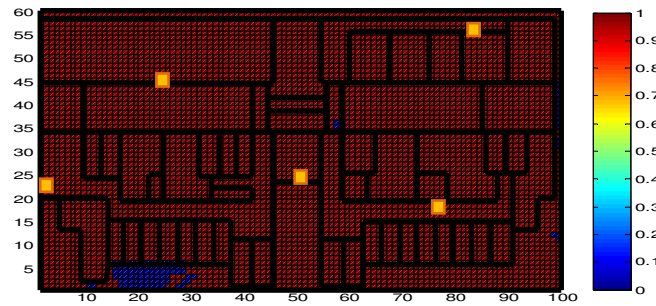


Fig. 7. Mapa de cobertura.

## V. CONCLUSIONES

Para planificar una red WIFI resulta muy conveniente modelar el entorno y poder realizar estudios previos con herramientas como CINDOOR, ya que no todos los elementos poseen las mismas características eléctricas y estructurales. También se obtienen beneficios del optimizador utilizado, que permite realizar la búsqueda automatizada de la solución o configuración más adecuada, sin la pérdida de tiempo que supone el método tradicional basado en la filosofía ensayo-error.

Todo esto permite obtener una valoración real a priori de las instalaciones que se planteen, lo que desemboca en un control de los costes y posibilidad de planificar las actuaciones. También permite ajustarse en la medida de lo posible a las necesidades demandadas por los usuarios, garantizando una QoS.

Desde el punto de vista funcional de la aplicación implementada para el BPSO, a diferencia de otros tipos de problemas en que se ha aplicado el optimizador, no se ha establecido la predominancia de ninguno de los esquemas sobre los demás por tender todos a progresar de manera similar. Solamente se ha podido establecer vagamente que los esquemas con topología global tienden a encontrar las soluciones más ajustadas en el menor número de iteraciones.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (TEC2008-02730/TEC).

## REFERENCIAS

- [1] R.P. Torres, L. Valle, M. Domingo, S. Loredó, M.C. Díez, "CINDOOR: An Engineering Tool for Planning and Design of Wireless Systems in Enclosed Spaces", IEEE AP Magazine, vol. 41, no. 4, pp. 11-22, Sep 1999.
- [2] J. R. Pérez, "Contribución a los métodos de optimización basados en procesos naturales y su aplicación a la medida de antenas en campo próximo". Tesis Doctoral, 2005.
- [3] <http://www.swarmintelligence.org/>.
- [4] J. Kennedy, R. C. Eberhart "A discrete binary version of the particle swarm algorithm", IEEE Int. Conf. On Systems, Man, and Cybernetics, vol. 5, pp. 4104-4108, 1997.
- [5] T. Vanhatupa, M. Hännikäinen, T. D. Hämäläinen, "Optimization of mesh WLAN channel assignment with a configurable genetic algorithm", Int. Workshop on Wireless mesh: moving towards applications, 2006.
- [6] M. Haidar, R. Ghimire, H. Al-Rizzo, R. Akl, Y. Chan, "Channel assignment in an IEEE 802.11 WLAN based on signal-to interference ratio", Canadian Conf. On Electrical and Computer Engineering: Communications and Networking, pp. 1169-1174, 4-7 May 2008.